

土力学 [1] 期末^①

by: 一只学土木的鼠鼠

^①edited by L^AT_EX

目录

第一章：土的物理性质及工程分类	1
两个经典问题	1
土的颗粒特征	1
土的三相比例指标（计算重点）	1
黏性土的界限含水率	3
无黏性土的密实度	3
第二章：黏性土的物理化学性质	5
第三章：土中水的规律	5
土的渗透性	5
达西渗透定律	5
动水力（渗透力）及渗流破坏	6
一句可能有用的话	7
第四章：土中应力计算	8
土的自重应力计算	8
基底压力的简化计算方法	8
竖向分布荷载作用下土中应力计算	10
饱和土有效应力原理	11

第一章：土的物理性质及工程分类

两个经典问题

1. 什么是土力学：

描述土的**变形、强度和渗透特性**以及与此有关工程问题的一门学科

2. 土的特点：

碎散性、三相性、天然性

土的颗粒特征

土的颗粒级配：土的颗粒大小及其组成情况，通常用土中各个不同粒组的相对含量（各粒组干土质量的百分比来表示）。

在累计曲线上有两个非常重要的系数，可以描述土的级配的指标：

不均匀系数

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

曲率系数

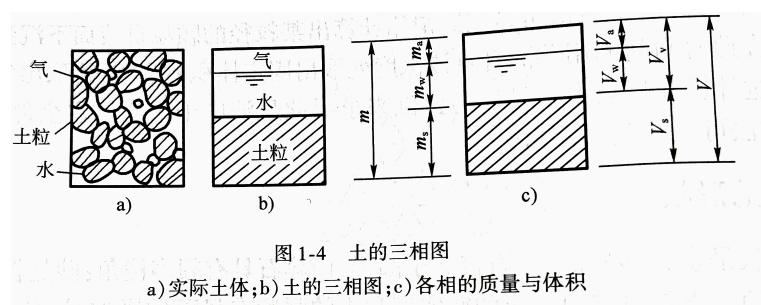
$$C_s = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \quad (2)$$

式中， d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别相当于累计百分含量为 10%、30%，60% 的粒径。

工程中，**当同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_s = 1\sim 3$ 时**，土的级配良好，为不均匀土。

土的三相比例指标（计算重点）

土的三相图是解决这类计算题的关键，如下图所示



土的物理性质指标分为两类：

1. 直接通过实验测定的有：

土的密度 (ρ)

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (3)$$

单位为 g/cm^3

土的比重 (G_s)

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}} \quad (4)$$

土的比重在数值上等于土粒密度 (ρ_s)，但土粒比重无量纲。

土的含水率 (ω): 土中水的质量 m_w 与土粒质量 m_s 之比

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (5)$$

2. 换算指标:

土的干密度 (ρ_d) (dry): 土的颗粒质量 m_s 与土的总体积 V 之比

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (6)$$

土的饱和密度 (ρ_{sat}) (saturated): 当土的孔隙中全部充满水时土的密度

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_V \rho_w}{V} \quad (7)$$

式中, V_V 为土中孔隙体积, 即水与空气的体积之和 ($V_w + V_a$)。

重度: 密度乘以重力加速度 g 即可得到重度, 单位为 kN/m^3 , 即:

$$\gamma = \rho g \quad (8)$$

则土有以下几个重度指标: 土粒重度 (γ_s)、饱和重度 (γ_{sat})、重度 (γ)、干重度 (γ_d)、有效重度 (γ'), 由大到小排序。

有效重度: 单位土体积中土粒的重力扣除同体积水的重力后, 即为单位土体积中土粒的有效重力, 即有效重度

$$\gamma' = \frac{m_s g - V_s \gamma_w}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (9)$$

土的孔隙比 (e): 土中孔隙体积 V_V 与土粒体积 V_s 之比:

$$e = \frac{V_V}{V_s} \quad (10)$$

土的孔隙率 (n): 土中孔隙体积 V_V 与土的总体积 V 之比, 常用百分数计:

$$n = \frac{V_V}{V} \times 100\% \quad (11)$$

土的饱和度 (S_r): 土孔隙中水的体积 V_w 与孔隙总体积 V_V 之比, 常用百分数计:

$$S_r = \frac{V_w}{V_V} \times 100\% \quad (12)$$

这些比例指标的相互换算关系是计算重点, 详细内容看书。

黏性土的界限含水率

两个界限含水率：

1. 液限 (ω_L)(Liquid limit)

流动状态与可塑状态的界限含水率，即可塑状态的上限含水率。

2. 塑限 (ω_P)(Plastic limit)

可塑状态与半固体状态的界限含水率，即可塑状态的下限含水率。

塑性指数 (I_p): 从液限到塑限的变化范围，可反映土的可塑性：

$$I_p = \omega_L - \omega_P \quad (13)$$

可做如下分类：

细粒土的分类(GB 50021—2001、JTG D63—2007) 表 1-15

土的名称	塑性指数	土的名称	塑性指数
黏土	$I_p > 17$	粉土	$I_p \leq 10$
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$		

注：表中的塑性指数应由相应于 76g 圆锥仪沉入土中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

液性指数 (I_L): 表示黏性土所处的软硬状态：

$$I_L = \frac{\omega - \omega_P}{I_p} = \frac{\omega - \omega_P}{\omega_L - \omega_P} \quad (14)$$

可塑状态的土的液性指数在 0~1 之间，液性指数越大表示土越软；大于 1 表示土处于流动状态，小于 0 表示土处于固体状态或半固体状态。

无黏性土的密实度

砂土的相对密实度为：

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (15)$$

式中：

e_{max}	砂土最松散状态时的孔隙比，即最大孔隙比
e_{min}	砂土最密实状态时的孔隙比，即最小孔隙比
e	砂土在天然状态时的孔隙比。

按照相对密度可分为三种密实度

密实度	密实	中密	松散
相对密度	1~0.67	0.67~0.33	0.33~0

第二章：黏性土的物理化学性质

没啥重点，看看书和习题册即可

第三章：土中水的规律

土的渗透性

渗透：在水位差的作用下，水透过土体空隙流动的现象

水头：任意断面处单位重量水的能量，等于比能（单位质量水的能量）除以重力加速度，单位为 m

达西渗透定律

在实际工程中不需要了解具体孔隙的渗流情况，因此可以对渗流做出如下简化：

1. 不考虑渗流路径的迂回曲折，只分析主要流向
2. 不考虑土体中颗粒的影响，认为孔隙的土粒所占的空间的总和均为渗流所充满

如图所示为简化的渗流模型：

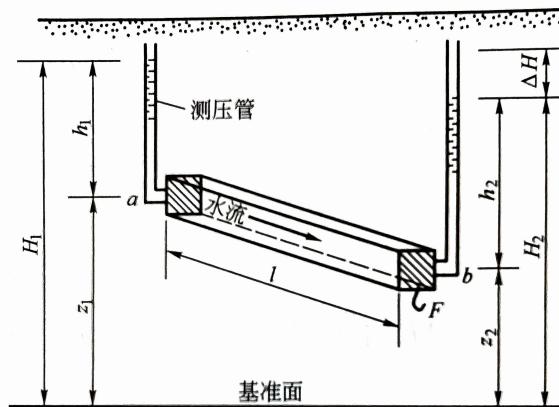


图 3-6 水在土中的渗流

达西定律的基本公式为：

$$v = kI \quad (16)$$

$$q = kIF \quad (17)$$

其中：

- v 为渗流速度 (m/s)

- I 为水头梯度，即沿着水流方向单位长度上的水头差，如图中 a、b 两点的水头梯度为 $I = \Delta H / \Delta l = (H_1 - H_2) / l$
- k 为渗透系数 (m/s)
- q 为渗透流量 (m^3/s)

注意：达西定律只适用于**层流**的情况，故一般只适用于中砂、细砂、粉砂等，不适用于粗砂，砾石、卵石等粗颗粒土。

在 t 时间内流过土样的流量为 Q ，得：

$$Q = qt = kIf t = k \frac{\Delta H}{l} F t \quad (18)$$

可得土样的渗透系数 k 为：

$$k = \frac{Ql}{\Delta H F t} \quad (19)$$

动水力（渗透力）及渗流破坏

动水力：渗透水流施于单位土体内土粒上的拖拽力，大小与水力梯度成正比，作用方向与渗流方向一致，是一种**体积力**。计算公式为：

$$G_D = T = \gamma_w I \quad (20)$$

流土和管涌的区别如下表所示：

类别 方面	流土	管涌
现象	土体局部范围的颗粒同时发生移动	土体内细颗粒通过粗粒形成的孔隙通道移动
位置	只发生在水流渗出的表层，由自下而上的渗流引起	可发生于土体内部和渗流溢出处，水平渗流可引起
土类	只要渗透力足够大，可发生在任何土中	一般发生在特定级配的无黏性土或分散性黏土
历时	破坏过程时间短	破坏过程为时长
后果	导致下游坡面产生局部滑动	导致结构发生塌陷或溃口

流砂现象：当向上的动水力 G_D 与土的有效重度 γ' 相等时，即

$$G_D = \gamma_w I = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (21)$$

由上式知：

$$I = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = I_{cr} \quad (22)$$

此时的水头梯度称为**临界水头梯度** I_{cr} ，**发生流沙的条件**即为 $I > I_{cr}$ 。

一句可能有用的话

冻胀现象常发生在细粒土中，特别是**粉土、粉质粘土中**，冻结时水分迁移积聚最为强烈，冻胀现象严重。

第四章：土中应力计算

土的应力包括自重应力和附加应力，前者是因土受到重力作用而产生的；后者是因受到建筑物等外荷载作用而产生的。

土的自重应力计算

如图所示为土中应力分布：

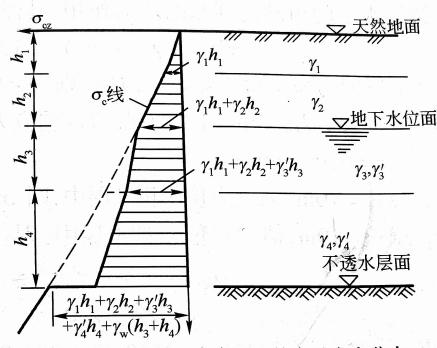


图 4-4 成层土中水下土的自重应力分布

自重应力计算公式为：

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 + \cdots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (23)$$

注意：对于水位以下土的自重应力，应考虑是否受水的浮力作用，具体重度取值(γ)情况如下：

砂性土		取有效重度 γ'	
黏性土	$I_L \geq 1$	流动状态	取有效重度 γ'
	$I_L \leq 0$	固体状态	取天然重度 γ

基底压力的简化计算方法

如图所示为基底压力的两种情况：**中心荷载**及**偏心荷载**：

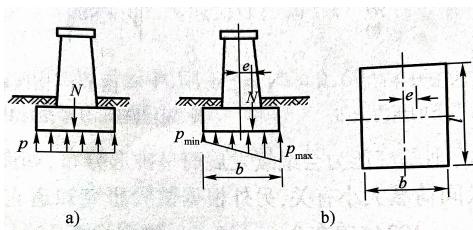


图 4-9 基底压力分布的简化计算

a) 中心荷载时；b) 偏心荷载时

1. 中心荷载

基底压力 p 为：

$$p = \frac{N}{F} \quad (24)$$

式中：

- N 为作用于基础底面中心的竖直荷载
- F 为基础底面积

2. 偏心荷载

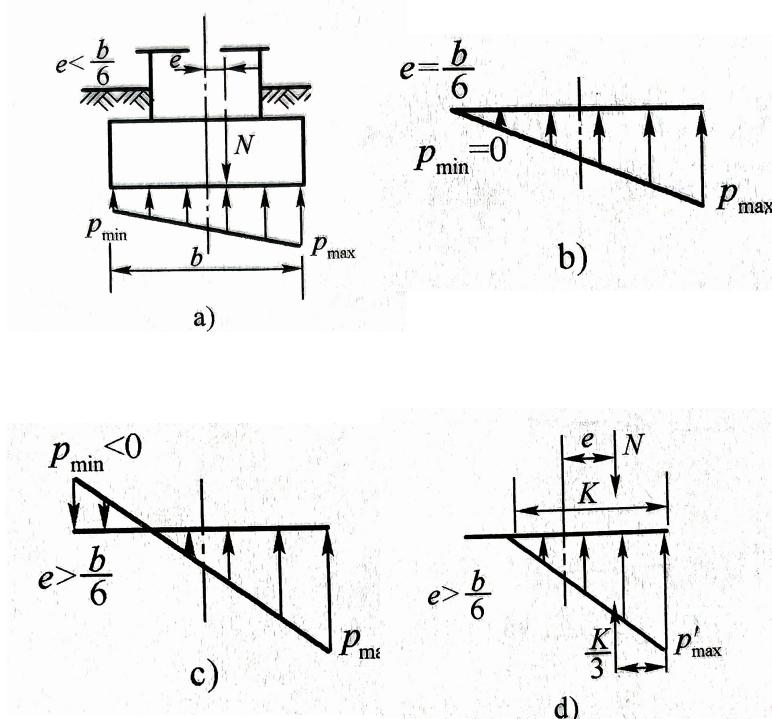
偏心受压公式为：

$$p_{min}^{max} = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{F} \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right) \quad (25)$$

式中：

- N 、 M 分别为作用在基础底面中心的竖直荷载及弯矩， $M = Ne$
- e 为荷载偏心距（在宽度 b 方向上）
- W 为基础底面的抵抗矩，对矩形基础 $W = lb^2/6$
- b 、 l 为基础底面的宽度与长度

按照偏心距 e 的大小，可将基底压力分布分为三种情况：



1. 当 $e < b/6$ 时, 由公式25知 $p_{min} > 0$, 基底压力呈梯形分布, 如图 a 所示
2. 当 $e = b/6$ 时, $p_{min} = 0$, 基底压力呈分布, 如图 b 所示
3. 当 $e > b/6$ 时, $p_{min} < 0$, 也即产生拉应力 (如图 c), 但是基底与土之间是无法承受拉应力的, 基底压力会重新分布, 重新分布后的最大压应力 p'_{max} 为

$$p'_{max} = \frac{2N}{3(\frac{b}{2} - e)l} \quad (26)$$

竖向分布荷载作用下土中应力计算

一般计算矩形面积均布荷载作用, 分为两种情况:

1. 矩形面积中点 O 下土中竖向应力 σ_z 计算

如图所示:

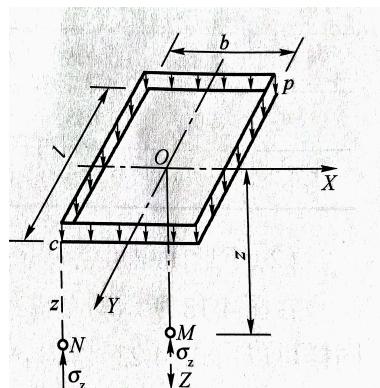


图 4-18 矩形面积均布荷载作用
下中点及角点竖向应力
 σ_z 的计算

大小为:

$$\sigma_z = \alpha_0 p \quad (27)$$

其中 α_0 可通过 $n = l/b$ 、 $m = z/b$ 查表得。

2. 矩形面积下土中任一点的竖向应力 σ_z 计算——角点法

如图所示:

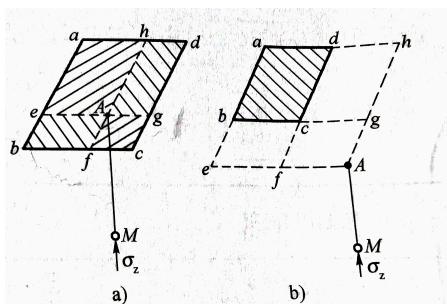


图 4-19 角点法计算图示

计算时可以通过 A 点将受荷面积 $abcd$ 分为 4 个小矩形面积 $aeAH$ 、 $ebfA$ 、 $hAgd$ 及 $Afcg$ ，再分别计算 4 个小矩形面积均布荷载在角点 A 下引起得竖向应力 σ_{zi} ，再叠加即得（如图 a）：

$$\sigma_z = \sum \sigma_{zi} = \sigma_{z(aeAh)} + \sigma_{z(ebfA)} + \sigma_{z(hAgd)} + \sigma_{z(Afcg)} \quad (28)$$

若 A 点在矩形面积范围之外（如图 b），缺失部分减掉即可，即：

$$\sigma_z = \sum \sigma_{zi} = \sigma_{z(aeAh)} - \sigma_{z(ebfA)} - \sigma_{z(hAgd)} - \sigma_{z(Afcg)} \quad (29)$$

同样， α_z 可通过 $n = l/b$ 、 $m = z/b$ 查表得。

饱和土有效应力原理

公式为：

$$\sigma = \sigma' + u \quad (30)$$

两个要点：

1. 土的有效应力 σ' 等于总应力 σ 减去孔隙水压力 u
2. 土的有效应力控制了土的变形及强度性能

参考文献

- [1] 钱建固. 《土质学与土力学》(第五版). 人民交通出版社股份有限公司, 2015.